

## بررسی کارآیی استفاده از فرات‌پتاسیم برای تصفیه پیشرفته فاضلاب شهری

دکتر محمد رضا مسعودی نژاد<sup>۱</sup>، عبدالعظیم علی نژاد<sup>۱\*</sup>، حامد محمدی<sup>۲</sup>، احسان آقایی<sup>۱</sup>، حسین نجفی<sup>۱</sup>،  
فیاض مهدی پور<sup>۱</sup>، ایمان پارسه<sup>۲</sup>، سجاد فاضلی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران؛ <sup>۲</sup>گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۶ اصلاح نهایی: ۹۱/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱

### چکیده:

زمینه و هدف: طیف وسیعی از منعقد کننده‌ها، اکسیدان‌ها و گندزداها در تصفیه آب و فاضلاب استفاده می‌شوند. یون فرات به عنوان یک اکسیدان قوی بالاترین پتانسیل اکسیداسیون-احیاء را بین همه اکسیدان‌ها و گندزداها در تصفیه آب و فاضلاب داراست. یون فرات (شش ظرفیتی) در آب به یون هیدروکسید فریک احیا می‌شود و می‌تواند در یک فرآیند چند منظوره به عنوان منعقد کننده، اکسیدان و گندزدا مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این مطالعه بررسی فرآیند تصفیه پیشرفته پساب فاضلاب شهری با استفاده از فرات پتاسیم بود. روش بررسی: در این مطالعه نیمه تجربی تصفیه پیشرفته فاضلاب شهری توسط فرات پتاسیم در مقیاس آزمایشگاهی روی پساب فاضلاب گندزدایی نشده با تعیین اثر متغیرهای pH و غلظت بر میزان حذف کدورت، ترکیبات ارگانی آب (COD) و فسفر مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین کارایی گندزدایی فرات پتاسیم نیز اثر سه متغیر زمان تماس، غلظت فرات و pH روی فرآیند گندزدایی با استفاده از شاخص MPN (Most Probable Number) مشخص شد.

یافته‌ها: بهترین راندمان حذف ترکیبات ارگانی آب و کدورت با استفاده از فرات پتاسیم در شرایط بهینه (pH=۵ و غلظت ۱۰ mg/L) به ترتیب ۶۵ و ۹۰٪ بود. pH و غلظت بهینه فرات پتاسیم در حذف فسفر نیز pH=۵ و غلظت ۱۲ mg/L بود که موجب حذف ۷۲ درصدی فسفر شد. بهترین شرایط کاربرد فرات پتاسیم به عنوان گندزدا در غلظت ۴ mg/L و زمان تماس ۲۵ دقیقه و pH=۶ بود. نتیجه گیری: فرات پتاسیم به عنوان یک ماده شیمیایی مؤثر اکسید کننده، گندزدا و منعقد کننده می‌تواند در تصفیه انواع پساب های شهری و صنعتی مورد استفاده قرار گیرد و با این کار دسترسی به چند هدف در یک فرآیند را میسر گرداند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اکسیداسیون-احیاء، تصفیه پیشرفته فاضلاب، فرات پتاسیم، فاضلاب شهری.

### مقدمه:

استانداردهای تخلیه به آب‌های پذیرنده یا به منظور استفاده مجدد کافی نمی‌باشد به طوری که در این موارد باید تصفیه بیشتری به منظور بهبود کیفیت پساب سیستم‌های تصفیه ثانویه صورت گرفته یا روش دیگری برای دفع فاضلاب انتخاب گردد (۲). در تصفیه پیشرفته که غالباً ترکیبات نیتروژنی و فسفوری (مواد مغذی مسبب اوتروفیکاسیون) حذف می‌شوند ممکن است از روش‌های مختلفی برای حذف جامدات معلق، مواد آلی

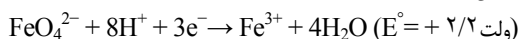
رشد بی‌رویه جمعیت، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، پراکندگی غیر یکنواخت منابع آب و خشکسالی‌های متناوب، بشر را وادار کرده است که به دنبال منابع جدید تأمین آب باشند (۱). استفاده از پساب کاملاً تصفیه شده که در حال حاضر از تصفیه خانه‌های شهری به محیط تخلیه می‌شود، می‌تواند به عنوان منبع نسبتاً قابل اعتماد آب مورد توجه قرار گیرد. کیفیت پساب ثانویه در اغلب مواقع برای برآوردن

\*نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، گروه مهندسی بهداشت محیط، تلفن: ۰۰۹۳۹۸۵۵۶۴۵۰، E-mail: azimalinejad@gmail.com

محلول و نمک‌های غیر آلی استفاده شود. به علت افزایش آلودگی آب‌ها در اثر تخلیه پساب و کمبود آب با گذر زمان در بیشتر مناطق جهان، معیارهای استاندارد آب آشامیدنی و تخلیه پساب باید با سطح اطمینان بالاتری در نظر گرفته شود، که نیاز به مواد شیمیایی و تکنولوژی با راندمان بالاتر و اثرات مضر جانبی کمتری داشته باشد (۳). طیف وسیعی از منعقد کننده‌ها، اکسیدان‌ها و گندزداها برای تصفیه آب و فاضلاب استفاده می‌شوند. بیشترین منعقد کننده‌های مورد استفاده شامل: سولفات فریک، سولفات آلومینیوم، سولفات فرو و کلرید فریک می‌باشند (۴، ۱). نمک‌های آلومینیوم به علت تولید املاح آلومینیوم در آب‌ها و با توجه به اینکه بیماری‌زایی آنها اثبات شده است می‌توانند مشکل‌ساز باشند (۵). این نمک‌ها، لجن زیادی تولید می‌کنند و تصفیه لجن هزینه زیادی را به دنبال دارد (۶). نیاز به اکسیژن و pH بالا برای سولفات فرو و نیاز به قلیائیت بالای آب جهت استفاده از سولفات فریک و کلرید فریک و همچنین کارآیی پایین این منعقد کننده‌ها در صورت بالا بودن غلظت مواد آلی و رنگ از جمله مشکلاتی است که برخی از نمک‌های منعقد کننده با آن مواجه هستند. از دیگر مشکلات عمده موجود، نیاز به دوز بالایی از نمک‌های آهن و آلومینیوم جهت انجام فرآیند انعقاد می‌باشد (۷). اکسیداسیون و گندزدایی دو واحد فرآیندی مهم در تصفیه آب و فاضلاب بوده و طیف وسیعی از اکسیدان‌ها و گندزداها در این فرایندها می‌باشد. عوامل اکسید کننده و گندزداهای مورد استفاده معمول شامل کلر، هیپوکلریت، دی‌اکسید کلر و ازن هستند که استفاده از آنها دارای محدودیت‌هایی همچون تشکیل محصولات جانبی خطرناک است. یک گندزدای شیمیایی ایده آل و کارآمد باید قادر به غیر فعال کردن میکروارگانیسم‌ها و تا حدودی تجزیه و اکسیداسیون آلاینده‌های آلی و غیر آلی، ذرات معلق و کلوئیدی و فلزات سنگین باشد. نمک فرات شش ظرفیتی ( $K_2FeO_4$ ) یک واکنشگر شیمیایی با پتانسیل اکسیداسیون- احیا بالا است که همه این معیارها را دارا

می‌باشد. یون فرات شش ظرفیتی به عنوان یک اکسیدان خیلی قوی، بالاترین پتانسیل اکسیداسیون- احیا را بین همه عوامل اکسید کننده و گندزداها برای تصفیه آب و فاضلاب دارد. پتانسیل اکسیداسیون- احیا فرات پتاسیم در شرایط اسیدی  $2/2$  ولت است درحالی که که پتانسیل اکسیداسیون- احیا ازن  $2/04$  و کلر  $1/4$  ولت است. پتانسیل اکسیداسیون- احیا فرات پتاسیم در شرایط اسیدی و قلیایی در واکنش‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همچنین طبق واکنش ۳، یون فرات شش ظرفیتی می‌تواند در طول فرایندهای اکسیداسیون و گندزدایی به یون  $Fe(III)$  یا هیدروکسید فریک کاهش یافته و در یک فرآیند چند منظوره یا به شکل کاربرد به عنوان منعقد کننده نیز مورد استفاده قرار گیرد (۱).

واکنش ۱:



واکنش ۲:



واکنش ۳:



فرات پتاسیم به صورت جامد کاملاً پایدار است ولی با حل شدن در آب و تماس با اکسیژن تجزیه می‌شود. محلول فرات پتاسیم در شرایط اسیدی ناپایدار بوده و در شرایط بازی پایدار و قابل نگهداری می‌باشد. برخی از کاربردهای فرات پتاسیم شامل گندزدایی آب، تجزیه آلاینده‌های آلی مصنوعی، اکسیداسیون آلاینده‌های غیر آلی، حذف مواد هیومیکی، تصفیه و گندزدایی آب، فاضلاب و تصفیه لجن می‌باشد (۸، ۵). تحقیقات زیادی در مورد کاربرد فرات پتاسیم در فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب انجام شده است. Jiang و همکاران (۹)، عملکرد فرات پتاسیم (VI) در غیر فعال سازی/شرش‌یابی و حذف COD از آب را با هیپوکلریت سدیم، سولفات فریک (FS) و سولفات آلومینیوم (AS) را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فرات پتاسیم مقدار COD را ۳۰ درصد بیشتر نسبت به سولفات آلوم و سولفات فریک کاهش داد و با مقدار غلظت مشابه در مقایسه با دو

منعقدکننده دیگر باعث کاهش ۳ عدد لگاریتمی در تعداد باکتری شد. Jiang و همکاران در مطالعه‌ای دیگر، میزان حذف آرسنات و آرسنیت را از آب آشامیدنی به وسیله فرات پتاسیم، فرات پتاسیم و کلرید آهن، فرات پتاسیم و کلرید آلومینیوم در محدوده pH های ۸-۶ و غلظت اولیه ۵۰۰ میکروگرم در لیتر آرسنیت، مورد بررسی و آزمایش قرار دادند. در مطالعه Jain و همکاران مشخص شد که ترکیب نمک فرات پتاسیم و آلومینیوم راندمان حذف بیشتری نسبت به فرات و یا فرات و کلرید آهن نشان داد و غلظت آرسنیت از ۵۰۰ به ۱/۴ میکروگرم بر لیتر در pH بهینه ۶/۵ کاهش یافت و میزان حذف با کاهش pH از ۸ به ۶ افزایش یافت (۱۰). Sharma و همکاران میزان اکسیداسیون ترکیبات ارگانوسولفور را به وسیله فرات پتاسیم مورد بررسی قرار دادند (۱۱). Ciabatti و همکاران تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب رنگی صنایع نساجی با استفاده از فرات پتاسیم را مورد مطالعه قرار دادند (۱۲). در این تحقیق فرات پتاسیم با میزان دوز بهینه ۷۰ میلی گرم بر لیتر راندمان بالایی در حذف همزمان رنگ، کدورت، کل جامدات معلق و ترکیبات ارگانی آب از خود نشان داد (۱۲). تصفیه به وسیله فرات پتاسیم هیچ گونه محصولات جانبی، متانوزن و کارسینوژن تولید نمی کند (۱۳). اکسید فریک تولید شده از تجزیه فرات پتاسیم یک منعقدکننده قوی تولید می کند که بسیاری از فلزات، غیر فلزات و اسید هیومیک را حذف می کند (۱۴). همچنین محدوده وسیعی از میکروارگانیزمها را در غلظت های خیلی پایین و کمترین زمان تماس غیرفعال می کند. با توجه به کارآیی نسبتاً بالای فرات پتاسیم در حذف آلاینده های مختلف هدف اصلی این پژوهش، بررسی کارایی این ترکیب در تصفیه پیشرفته فاضلاب شهری و بررسی تاثیر متغیرهای مختلف بر واکنش بوده است.

## روش بررسی:

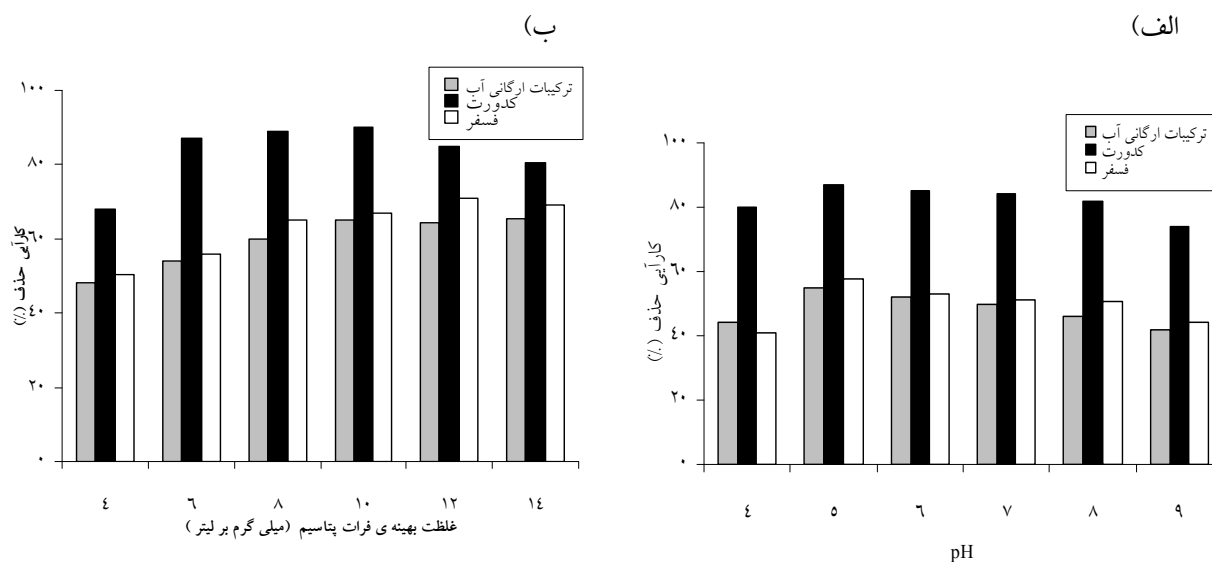
این مطالعه از نوع نیمه تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی به صورت ناپیوسته بر روی پساب ثانویه

فاضلاب شهری قبل از عمل کلرزنی انجام گرفته است. نمونه ها از تصفیه خانه فاضلاب دانشگاه شهید بهشتی به صورت مرکب ۲۴ ساعت تهیه و در ظروف پلی اتیلنی به آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی منتقل و جهت انجام آزمایشات در زمان مقرر در یخچال نگهداری شدند. مشخصات اولیه نمونه فاضلاب خام شامل pH، ترکیبات ارگانی آب، کدورت، فسفر و  $MPN/100mL$  مورد اندازه گیری قرار گرفتند. در ابتدا ماده فرات پتاسیم (ساخت شرکت Sigma Aldrich) با درجه خلوص ۹۰ درصد تهیه شد. جهت بررسی تصفیه پذیری پساب ثانویه فاضلاب و میزان راندمان در کاهش پارامترهای گفته شده بوسیله فرات پتاسیم، آزمایشات در دو مرحله شیمیایی و میکروبی انجام گرفت. در این آزمایشات فرآیند انعقاد توسط فرات پتاسیم با استفاده از دستگاه جارتست (Phipps & Bird Stirred) مجهز به شش پروانه با ظروف ۱۰۰۰ سی سی صورت گرفت. pH انعقاد برای بدست آوردن pH بهینه در محدوده های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ و مقدار دوز ماده منعقدکننده در محدوده های ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی گرم در لیتر تنظیم شد. برای انعقاد ابتدا در یک دوز ثابت، pH بهینه تعیین شد و با ثابت نگه داشتن pH، دوز بهینه به دست آمد. بدین منظور نمونه ی فاضلاب با دور تند (سرعت ۱۴۰ rpm) به مدت یک دقیقه مخلوط شد و سپس در دور کند به مدت ۲۰ دقیقه (۳۵ rpm) لخته سازی صورت گرفت. بعد از اتمام اختلاط کند به نمونه اجازه داده شد تا طی زمان ۶۰ دقیقه ته نشین شود. پس از پایان ته نشینی ۱۰۰ میلی لیتر از آب رویی به منظور اندازه گیری پارامترهای مختلف شامل کدورت، فسفر و COD برداشته شد و میزان کاهش آنها با مقایسه ی میزان غلظت ورودی و خروجی فرایند در فاضلاب اولیه و ثانویه محاسبه گردید. تمام آزمایشات طبق روش مندرج در کتاب استاندارد متد ویرایش بیست و یکم انجام گردید (۱۵). به منظور تعیین کارایی گندزدایی فرات از یک راکتور

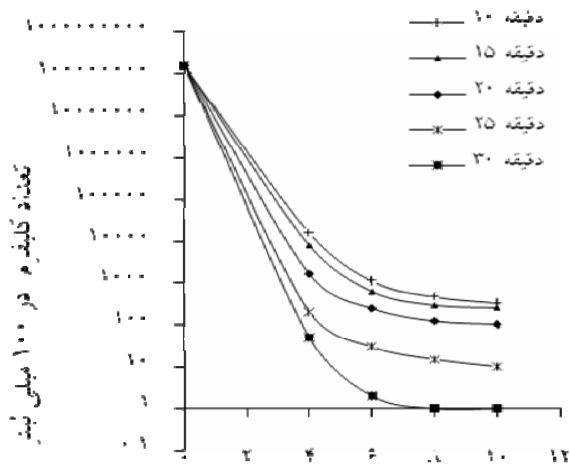
## یافته‌ها:

مشخصات فیزیکی و شیمیایی فاضلاب اولیه شامل پارامترهای COD، کدورت و فسفر به ترتیب  $270 \text{ mg/L}$ ،  $37/5 \text{ NTU}$  و  $8 \text{ mg/L}$  همچنین  $\text{pH}$   $7/2$  و تعداد کلیفرم در  $100$  میلی لیتر برابر  $16 \times 10^7 \text{ MPN}$  بدست آمد. نتایج حاصل از تأثیر متغیرهای مختلف در فرآیند تصفیه توسط فرات پتاسیم که راندمان حذف COD و کدورت با استفاده از فرات پتاسیم در شرایط بهینه  $\text{pH}=5$  و غلظت  $10 \text{ mg/L}$  به ترتیب تقریباً  $65$  و  $90$  درصد بود.  $\text{pH}$  و غلظت بهینه فرات پتاسیم در حذف فسفر نیز  $\text{pH}=5$  و غلظت  $12 \text{ mg/L}$  بود، که موجب حذف  $72$  درصدی فسفر شد. بهترین غلظت، زمان تماس و  $\text{pH}$  در کاربرد فرات پتاسیم به عنوان گندزدا به ترتیب  $4 \text{ mg/L}$  در زمان تماس  $25$  دقیقه و  $\text{pH}=6$  بود.

ناپیوسته در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. میزان گندزدایی نیز با شاخص MPN و با استفاده از غلظت‌های مختلف  $4$ ،  $6$ ،  $8$  و  $10$  میلی گرم در لیتر از فرات پتاسیم در  $\text{pH}$  های  $5$ ،  $6$ ،  $7$  و  $8$  و زمان‌های تماس  $10$ ،  $15$ ،  $20$ ،  $25$  و  $30$  دقیقه تعیین گردید.  $\text{pH}$  توسط دستگاه  $\text{pH Meter}$  مدل (Jenway 3305)، COD به روش  $5220 \text{ B}$  استاندارد متد به صورت تقطیر برگشتی و کدورت بر حسب (Nephelometric Turbidity Units=NTU) با استفاده از دستگاه Turbidity meter مدل (2100) بر اساس روش نفلومتری بر پایه پراکنش نور اندازه‌گیری شد. فسفر نیز با روش کلراید استانوس (4500-D-P) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (5000 HACH DR) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

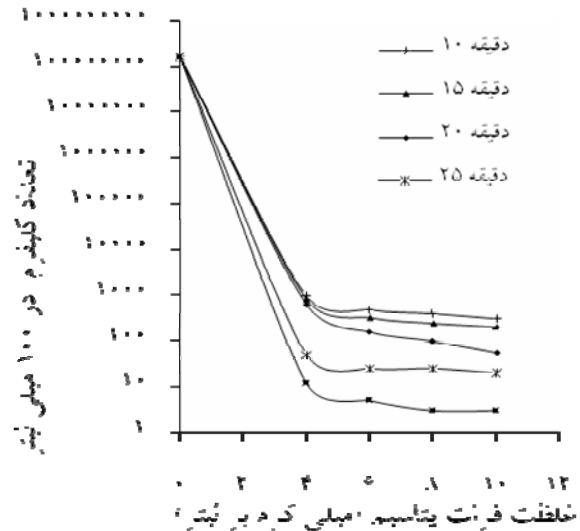


**نمودار شماره ۱: الف)** تعیین  $\text{pH}$  بهینه برای حذف COD، کدورت و فسفر بوسیله فرات پتاسیم در غلظت بهینه  $6$  میلی گرم بر لیتر، **ب)** تعیین غلظت بهینه ی فرات پتاسیم برای حذف COD، کدورت و فسفر در  $\text{pH}=5$



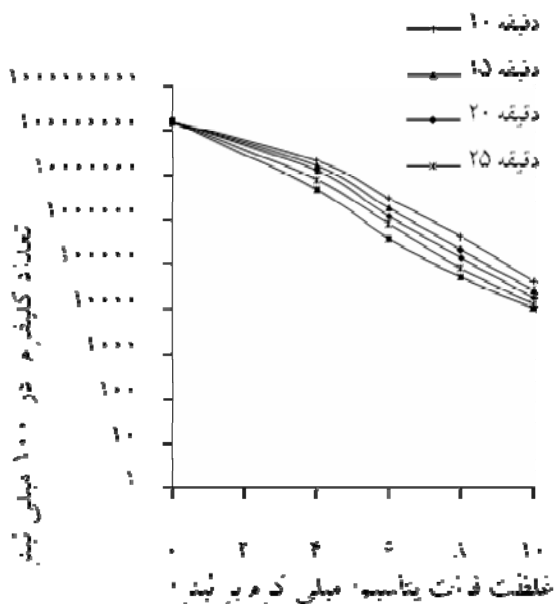
غلظت فرات پتاسیم میلی گرم بر لیتر

pH=6 (ب)



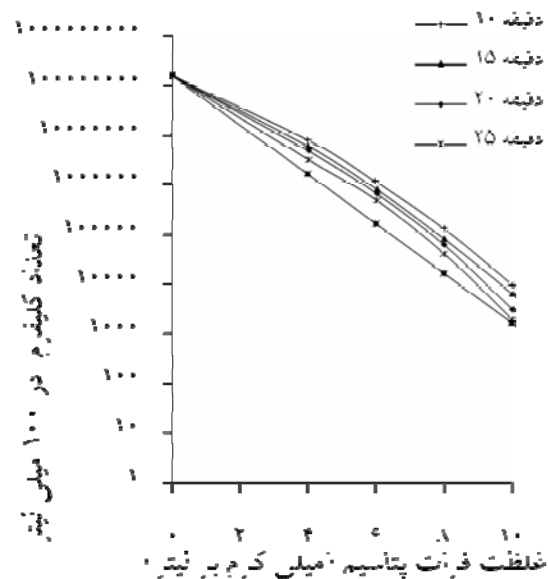
غلظت فرات پتاسیم میلی گرم بر لیتر

pH=5 (الف)



غلظت فرات پتاسیم میلی گرم بر لیتر

pH=8 (د)



غلظت فرات پتاسیم میلی گرم بر لیتر

pH=7 (ج)

نمودار شماره ۲: تعیین تعداد کلیفرم بر حسب شاخص MPN به وسیله فرات پتاسیم برای غلظت و زمان‌های مختلف در pH های مشخص شده

### بحث:

معادل ۶۵ درصد بدست آمد، این در حالی است که با افزایش غلظت فرات پتاسیم در مقادیر بیش از مقدار بهینه تعیین شده، افزایش اندکی در حذف COD حاصل شد که این افزایش محسوس نبود و مقبولیت اقتصادی نداشت. نتایج حاصل از حذف COD در این مطالعه توسط فرات پتاسیم با تحقیق Sharma و همکاران در قابل مقایسه می‌باشد (۱۱). در این تحقیق از دوزهای

تأثیر مقدار pH و غلظت در حذف COD، کدورت و فسفر با استفاده از فرات پتاسیم در فرآیند انعقاد نشان داد که pH=5 و غلظت بهینه ۱۰ میلی گرم بر لیتر فرات پتاسیم برای حذف COD مناسب می‌باشد. با افزایش pH درصد حذف COD کاهش می‌یابد که این می‌تواند به دلیل کاهش قدرت اکسیدکنندگی فرات پتاسیم در محیط قلیایی باشد. میزان حذف COD

۶، ۱۰، ۱۸، ۲۲ و ۲۶ میلی گرم بر لیتر استفاده شد. دوز بهینه در این مطالعه ۲۲ میلی گرم بر لیتر و راندمان حذف ۴۰ درصد به دست آمد در حالی که دوز بهینه در مطالعه ما ۱۰ میلی گرم بر لیتر و راندمان حذف ۶۵ درصد حاصل شد، یعنی درصد حذف COD، ۲۵ درصد بیشتر از مطالعه Sharma و همکاران بدست آمد. علت افزایش راندمان در مطالعه حاضر به قدرت بالای اکسیداسیون فرات پتاسیم در شرایط اسیدی ( $pH=5$ ) بر می گردد در حالی که در این مطالعه از  $pH$  طبیعی خود فاضلاب ۷/۲ استفاده شده بود. همچنین  $pH$  و غلظت بهینه در عملکرد فرات پتاسیم برای حذف فسفر به ترتیب ۵ و ۱۲ میلی گرم بر لیتر انتخاب گردید. با افزایش  $pH$  درصد حذف فسفر کاهش یافت که این به دلیل کاهش قدرت اکسیدکنندگی فرات پتاسیم در محیط قلیایی می باشد. در دوز بهینه ۱۲ میلی گرم بر لیتر، میزان حذف فسفر ۷۲ درصد حاصل شد، در حالی که با افزایش غلظت فرات پتاسیم در مقادیر بیشتر از مقدار بهینه تعیین شده، راندمان تغییر محسوسی نداشت. فرات پتاسیم به دلیل پتانسیل اکسیداسیون بالا و ایجاد تغییرات عمده در خواص سطحی جامدات معلق و فسفر در دوز خیلی پایین، راندمان خوبی در حذف فسفر از خود نشان داد و باعث حذف بیشتر این پارامتر بوسیله انعقاد، ترسیب و خروج از محلول گردید (۱۲). از طرف دیگر محصول جانبی تجزیه فرات پتاسیم یون فریک و هیدروکسید فریک می باشد (واکنش ۳) که عامل اصلی انعقاد بوده و می تواند پس از تجزیه مواد آلی و میکروارگانیسم ها به عنوان منعقد کننده عمل کند. همچنین نتایج این مطالعه و راندمان بدست آمده در حذف فسفر با یافته های Jiang و همکاران مطابقت دارد (۹).  $pH$  بهینه ۵ و غلظت بهینه ۶ میلی گرم بر لیتر در عملکرد ماده فرات پتاسیم برای حذف کدورت انتخاب شد، به طوری که در غلظت های بالاتر از ۶ میلی گرم بر لیتر، افزایش محسوسی در راندمان حذف کدورت مشاهده نشد. همچنین یافته های این مطالعه با نتایج حاصل از تحقیق Jiang و همکاران در حذف کدورت، COD و

باکتری های کلیفرمی مطابقت دارد به طوری که در مطالعه آنها غلظت بهینه ۲۰ میلی گرم بر لیتر در  $pH=7$  درصد حذف کدورت ۹۴ درصد بدست آمد. در حالی که در این مطالعه ما دوز بهینه ۶ میلی گرم بر لیتر و راندمان حذف ۹۲ درصد در  $pH=5$  بدست آمد. در غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر و  $pH=5$  در همه زمان های تماس بیشترین میزان کاهش تعداد باکتری های کلیفرمی (تا ۶ واحد لگاریتمی کاهش) مشاهده گردید ولی با افزایش غلظت از ۴ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر میزان حذف قابل توجه نبود. همچنین غلظت های ۴ و ۶ میلی گرم بر لیتر فرات پتاسیم، در زمان های ۲۵ و ۳۰ دقیقه، استاندارد خروجی پساب از لحاظ بار میکروبی تامین شده است (کمتر از ۱۰۰ MPN/۱۰۰mL)، در حالی که غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر می تواند در زمان تماس ۲۰ دقیقه میزان کاهش را به استاندارد مورد نظر برساند. با توجه به اینکه استاندارد سازمان محیط زیست برای تعداد کلیفرم های گوارشی در پساب خروجی به منظور تخلیه به آب های سطحی و پذیرنده ۴۰۰ MPN/۱۰۰mL می باشد (۱۶). غلظت ۴ میلی گرم در لیتر می تواند غلظت بهینه اقتصادی از نظر میزان مصرف ماده شیمیایی باشد، با این تفاوت که مدت زمان بیشتری برای گندزدایی مورد نیاز می باشد. افزایش غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها با افزایش غلظت در  $pH=6$  بود و بیشترین حذف در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر مشاهده شد. در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر تنها در زمان تماس ۳۰ دقیقه استاندارد خروجی پساب به آب های پذیرنده تامین شد. لازم به ذکر است که در غلظت های ۶، ۸ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر در زمان تماس ۳۰ دقیقه و  $pH=6$  به میزان صد درصد غیرفعال سازی باکتری های کلیفرمی مشاهده شد. عملکرد گندزدایی فرات پتاسیم در  $pH$  های بالاتر کاهش یافت، بنابراین استفاده از این ماده در محیط های خنثی و قلیایی نسبت به محیط اسیدی اهداف مورد نظر گندزدایی را کمتر بر آورده می سازد. کاهش ناچیز تعداد باکتری های کلیفرمی در  $pH$  های ۷ و ۸ و غلظت های ۴ و ۶ میلی گرم بر لیتر نشان می دهد که  $pH$

pH=۶ باعث غیر فعال سازی باکتری‌ها تا ۶ واحد لگاریتمی شد قابل مقایسه می‌باشد.

### نتیجه‌گیری:

فرات پتاسیم به عنوان یک ماده شیمیایی مؤثر اکسیدکننده، گندزدا و منعقدکننده می‌تواند در تصفیه انواع پساب‌های شهری و صنعتی مورد استفاده قرار گیرد و با این کار دسترسی به چند هدف در یک فرآیند را میسر گرداند. به دلیل وجود مواد اولیه ارزان قیمت و نیروی متخصص در ایران و با توجه به مزایای ذکر شده برای فرات پتاسیم استفاده از این ترکیب به عنوان یکی از گزینه‌های برتر برای تصفیه پیشرفته فاضلاب پیشنهاد می‌شود.

### تشکر و قدردانی:

بدینوسیله از همکاری‌های صمیمانه مسئولین و کارشناسان محترم آزمایشگاه گروه بهداشت محیط، مدیران محترم گروه‌های بهداشت محیط و بهداشت حرفه ای و معاونت پشتیبانی دانشکده شهید بهشتی تشکر و قدردانی می‌گردد.

اثر به سزایی در عملکرد گندزدایی بوسیله فرات پتاسیم در غلظت‌های پایین دارد. غلظت‌های ۸ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر در pH های ۵ و ۶ در تمامی زمان‌های تماس تعداد MPN/۱۰۰mL را به استانداردهای خروجی سازمان محیط زیست برای تخلیه پساب به آب‌های پذیرنده می‌رساند. با توجه به اینکه مقدار ماده شیمیایی مصرفی و زمان تماس به عنوان عوامل اصلی در برآورد هزینه اقتصادی می‌باشد، بنابراین غلظت بهینه ما می‌تواند کمترین غلظت ممکن باشد که اهداف گندزدایی را تامین کرده و مقدار استاندارد تخلیه را برآورده کند. به نظر می‌رسد که غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر در زمان‌های تماس ۲۵ و ۳۰ دقیقه در pH=۶ بهترین بهره وری اقتصادی را داشته باشد. در تحقیق Jiang و همکاران اثر گندزدایی فرات پتاسیم بر روی پساب ثانویه بررسی شد. در این تحقیق از غلظت‌های ۶،۴ و ۸ میلی گرم بر لیتر و pH های ۵ و ۷ استفاده شد. نتایج تحقیق این گروه نشان داد که فرات پتاسیم توانست در غلظت ۶ میلی گرم بر لیتر و در pH های گفته شده تا ۴ واحد لگاریتمی تعداد باکتری‌ها را کاهش دهد (۹). نتایج این تحقیق با مطالعه حاضر که در آن فرات پتاسیم در شرایط غلظت بهینه ۴ و

### منابع:

1. Ma J, Liu W. Effectiveness of ferrate (VI) preoxidation in enhancing the coagulation of surface waters. Water research. 2002 Dec; 36(20): 4959-62.
2. Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Wiley; 2000. 700-50.
3. Qasim SR, Motley EM, Zhu G. Water works engineering: planning, design, and operation. Michigan: Prentice Hall; 2000. 140-64.
4. Jiang JQ. Research progress in the use of ferrate(VI) for the environmental remediation. J Hazard Mater. 2007 Jul; 14(3): 617-23.
5. Graham N, Jiang CC, Li XZ, Jiang JQ, Ma J. The influence of pH on the degradation of phenol and chlorophenols by potassium ferrate. Chemosphere. 2004 Sep; 56(10): 949-56.
6. Wang LK, Hung YT, Lo HH, Yapijakis C. Handbook of industrial and hazardous wastes treatment. 2<sup>nd</sup> ed. CRC; 2004. 315-21.
7. Guibai L, Gregory J. Flocculation and sedimentation of high-turbidity waters. Water Research. 1991; 25(9): 1137-43.

8. El-Gohary F, Tawfik A, Mahmoud U. Comparative study between chemical coagulation/precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre-treatment of personal care products (PCPs) wastewater. *Desalination*. 2010; 252(1-3): 106-12.
9. Jiang JQ, Wang S, Panagouloupoulos A. The role of potassium ferrate (VI) in the inactivation of *Escherichia coli* and in the reduction of COD for water remediation. *Desalination*. 2007; 210(1-3): 266-73.
10. Jain A, Sharma VK, Mbuya OS. Removal of arsenite by Fe(VI), Fe(VI)/Fe(III), and Fe(VI)/Al(III) salts: effect of pH and anions. *J Hazard Mater*. 2009 Sep; 169(1-3): 339-44.
11. Sharma VK, Luther GW, Millero FJ. Mechanisms of oxidation of organosulfur compounds by ferrate (VI). 3<sup>rd</sup> ed. *Chemosphere*. 2011; 82(8): 1083-9.
12. Ciabatti I, Tognotti F, Lombardi L. Treatment and reuse of dyeing effluents by potassium ferrate. *Desalination*. 2010; 250(1): 222-8.
13. Ratajczak M. The use of coagulation as a pre-treatment to ultra-filtration membranes. Canada: University of Waterloo; 2007. 12-36.
14. Al-Muzaini S. Industrial wastewater management in Kuwait. *Desalination*. 1998; 115(1): 57-62.
15. Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association, American water works Association. Water Environment Federation. No 21.
16. M.B. Pescod. Wastewater treatment and use in Agriculture. FAO irrigation and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. 2001; 47.



## **The study of potassium ferrate application efficiency for advanced treatment of sewage**

Masoudinejad MR (PhD)<sup>1</sup>, Alinejad A (PhD student)<sup>1\*</sup>, Mohammadi H (PhD student)<sup>2</sup>, Aghayani I (MSc)<sup>1</sup>, Najafi H (MSc)<sup>1</sup>, Mehdipour F (MSc)<sup>1</sup>, Parse I (MSc student)<sup>2</sup>, Fazeli S (MSc)<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Environmental Health Engineering Dept., Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, I.R. Iran; <sup>2</sup>Environmental Health Engineering Dept., Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, I.R. Iran.

Received: 5/Feb/2011

Revised: 16/Apr/2012

Accepted: 23/July/2012

**Background and aims:** A wide range of coagulants, oxidants, and disinfectants are used for water and wastewater treatment. Ferrate ion as a strong oxidant has the highest oxidation potential among all oxidants and disinfectants in water and wastewater treatment. Ferrate (VI) ions are reduced to Fe (III) ions or hydroxide ferric in water, which can simultaneously serve as a coagulant and oxidant or a disinfectant in a versatile process. The aim of this study was to determine the effectiveness of potassium ferrate use for advanced treatment of sewage.

**Methods:** This quasi-experimental study was conducted in laboratory scale. An advanced wastewater treatment was studied by potassium ferrate on the effluent wastewater through determining the effect of pH and concentration on the removal of turbidity, the chemical oxygen demand (COD) and phosphorus. In order to determine the efficiency of disinfection of the ferrate, the effect of three variables, contact times, ferrate concentrations, and pH on disinfection processes was determined by the most probably number index (MPN).

**Results:** The results showed that the best condition for COD removal efficiency and the removal of turbidity was %65 and %90 using potassium ferrate with pH=5 and optimum concentration of 10 mg/l. pH and concentration of potassium ferrate for optimum performance of phosphorus removal was 5 and 12 mg/L, which caused phosphorus removal %72. The optimum condition for potassium ferrate applied as disinfectant was in 4/mg/l concentration, contact time of 25 minute, and pH=6.

**Conclusion:** Potassium ferrate can be used as an effective oxidant, disinfectant and coagulant chemical for treating a variety of municipal and industrial wastewaters. It will allow access to multiple targets in a process.

**Keywords:** Advanced wastewater treatment, Potassium ferrate, Potential-oxidant, Municipal wastewater effluents.

**Cite this article as:** Masoudinejad MR, Alinejad A, Mohammadi H, Aghayani I, Najafi H, Mehdipour F, et al. The study of potassium ferrate application efficiency for advanced treatment of sewage. J Shahrekord Univ Med Sci. 2013 June, July; 15(2): 100-108.

---

\*Corresponding author:

Environmental Health Engineering Dept., Shahid Beheshti University of Medical Sciences, I.R. Iran. Tel: 00989398556450, E-mail: azimalinejad@gmail.com